

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ РАЗВЕДОЧНОЙ
ГЕОФИЗИКИ

УДК 550.831:551.24.035:553.3/9

В.В.Филатов, Г.Г.Кассин

ТЕКТОНОГРАВИМЕТРИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СДВИГОВЫХ ЗОН

Месторождения полезных ископаемых пространственно и генетически связаны с различными структурно-тектоническими элементами. Поэтому в общем комплексе геолого-геофизических исследований важное место принадлежит структурному картированию.

Изучение геологических структур не может быть полным, если не определен механизм их формирования. Решение этой проблемы возможно только на основе геодинамического анализа геолого-структурной информации. В связи с этим В.И.Старостин [4], например, предложил дополнить морфологическую характеристику рудных структур новыми классификационными признаками, включающими петрофизические свойства среды, термодинамические условия структурообразования, региональный геотектонический режим, механизмы деформирования, структурный парагенезис и полихронность палеотектонических обстановок.

Перечисленные признаки являются не случайными: петрофизические свойства среды, термодинамика и региональная геотектоническая обстановка - это условия, в которых происходит формирование структуры. Условия, в свою очередь, определяют механизм деформирования геологической среды, приводящей к образованию структурного парагенезиса, как совокупности складчатых и разрывных элементов, возникающих в одном тектоническом режиме. Полихронность же есть временная развертка процесса формирования структуры.

Таким образом, эта система признаков достаточно полно характеризует геодинамический процесс формирования структуры, одна из форм проявления которого заключается в изменении физических свойств горных пород, и, следовательно, он должен находить отражение в наблюдаемых геофизических полях.

Отсюда появляется принципиальная возможность установления механизмов формирования геологических структур с помощью геофизических методов и в первую очередь с помощью гравиметрии, поскольку основным параметром, характеризующим деформирование среды при структурообразовании, является дилатация θ (относительное изменение объема среды). Она может быть положительной и отрицательной. В первом случае происходит образование новых и раскрытие старых трещин, и, таким образом, среда разуплотняется. Во втором случае поры и трещины закрываются и среда уплотняется. Свойства дилатации были детально проанализированы одним из авторов статьи, пришедшем в результате к следующим выводам [7].

Экспериментальные исследования, выполненные на образцах горных пород при различных видах нагружения и в широком диапазоне изменения величины нагрузки, показывают, что при напряжениях, превышающих предел упругости породы, дилатация имеет устойчивую тенденцию к росту. Основное изменение θ связано с запредельным деформированием в условиях трехосного неравномерного сжатия, особенно, если нагрузки являются длительными (Ставрогин, 1962, 1965, 1969; Новожилов, 1965; Баклашев, 1988 и др.).

Время как важнейший геологический фактор оказывает существенное влияние на деформирование среды. Под действием постоянной силы деформация со временем растет. Это явление называют ползучестью. Поскольку одним из главных механизмов ползучести является трещинообразование, то дилатация растет с течением времени и при таком режиме деформирования.

Ползучесть состоит из двух частей: из собственно ползучести и релаксации напряжений, которая заключается в стремлении среды к равновесию. Когда оно нарушается, то часть упругой энергии переходит в работу против внешних сил, способствуя образованию новых трещин. Релаксационное течение всегда заканчивается разрушением среды и, следовательно, увеличением дилатации. Особенность этого процесса заключается в том, что он протекает в маломощном слое вблизи поверхности разгрузки (Пономарев, 1981, 1986), образуя локальные разуплотненные зоны. Геологическими примерами зонной релаксации напряжений могут служить линейные и площадные коры выветривания.

Беличина θ изменяется в широких пределах: от долей процента до 10-15%, достигая иногда 20-30% и более. Наибольшей дилатацией характеризуется хрупкое разрушение, благоприятные условия которому существуют в верхней части земной коры, на глубинах до 4-11 км (Старостин, 1979; Исай, 1983; Николаевский, 1985; Рац, 1970; Хенди, 1969 и др.). Исследования показывают, что трещинообразование и в образцах горных пород, и в земной коре происходит неравномерно. И в том, и в другом случаях образуются локальные участки с повышенной трещиноватостью (деструкцией) (Белонин, 1970; Белоусов, 1964; Гзовский, 1975; Кноринг, 1970; Курилов, 1982; Ладыгин, 1981; Лучицкий, 1967, 1973 и др.). Следовательно, и дилатационные области будут тоже локальными.

Дилатация растет с увеличением предела прочности породы, поэтому та из них, которая испытала вторичные структурно-деформационные изменения, характеризуется меньшей θ . Дилатация уменьшается с ростом температуры. Ее понижает также присутствие в порах жидкостей и газов (Томашевский, 1976; Звягинцев, 1978; Воларович, 1988 и др.).

Дилатационный процесс приводит к изменению плотности геологических объектов. Впервые это отметил В.В.Белоусов [1]. Детальные геолого-петрографические исследования показали, что плотность пород в результате трещинообразования может изменяться на 0,01-0,4 г/куб.см³ (Беличенко, 1987; Шередеко, 1987; Гинтов, 1988; Куддусов, 1988 и др.).

Особенность структурообразования заключается в том, что морфология структуры и зоны дилатации закономерно связаны между собой. Каждому типу структуры в идеале соответствует только ей присущее пространственное распределение дилатационных зон, определяемое механизмом формирования структуры.

Таким образом, локальность зон дилатации, значительное изменение плотности пород в их пределах, приуроченность к верхней части земной коры и связь с формой структуры служат предпосылками применения гравиметрии для определения вероятной природы образования структуры.

В общем виде идею рассматривать свойства горных пород с учетом их генезиса высказал в 1923 г. Ф.Ю.Левинсон-Лессинг. На связь трещинообразования и плотности геологических объектов, как уже отмечалось, первым обратил внимание В.В.Белоусов. А дилатационный эффект как аномалиеобразующий фактор впервые рассмотрел и количественно проанализировал В.А.Шередеко [8]. Однако, несмотря на пионерное значение его исследований, они несут на себе отпечаток односторонности. Области дилатационного разуплотнения рассмотрены им как источники аномалий-помех, искажающие поля изучаемых объектов. Поэтому и подход к их истолкованию сведен им до тривиального геологического редуцирования.

Продолжая эту логичную цепочку, мы рассматриваем дилатацию в ее истинном значении как одну из форм проявления напряженно-деформированного состояния среды, доступного изучению гравиметрией.

Важное значение для рудообразования имеют такие структурно-тектонические элементы земной коры, как разломы, особенно сдвиговой природы. Из аналитического обзора многочисленной литературы, посвященной различным вопросам сдвиговой тектоники (Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Гинтов, Исай, 1988; Спенсер, 1983; Муди, Хилл, 1960; Шерман, 1983; Соболев, 1980; Стаховская, 1988; Чаленко, 1970 и др.), следует:

1) при сдвигообразовании формируется структурный парагенезис, состоящий из следующих элементов: сопряженных сколов R и R^1 ; трещин отрыва T , ориентированных при

упруго-мгновенных деформациях под углом 45° к направлению сдвига - эшелонированные складки Fd; на заключительных стадиях сдвигового процесса возникают обратные косые сколы P и продольные сколы L (рис.1);

2) из элементов структурного парагенезиса, образующихся в зоне сдвига, наиболее отчетливо проявляются сопряженные сколы, трещины отрыва и эшелонированные складки; особенность их пространственного положения заключается в том, что они образуют кулисообразные последовательности близких по форме и размерам однотипных структур;

3) трещины отрыва и скола состоят из совокупности более мелких (первичных) трещин, которые улучшают проницаемость и способствуют увеличению дилатации в среде на всю мощность слоя,

вовлеченного в сдвиговый процесс; по таким проницаемым зонам-каналам под действием глубинного стресса происходит внедрение различных магм и флюидов;

4) проницаемые зоны располагаются главным образом в активном крыле сдвига;

5) строение сдвиговых зон одинаково на всех масштабных уровнях - от трещины до глубинного разлома.

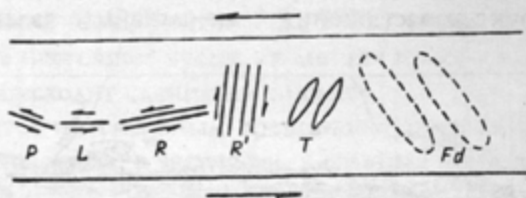


Рис.1. Структурный парагенезис в зоне сдвига (по С.С.Стоянову [5].
(Условные обозначения в тексте)

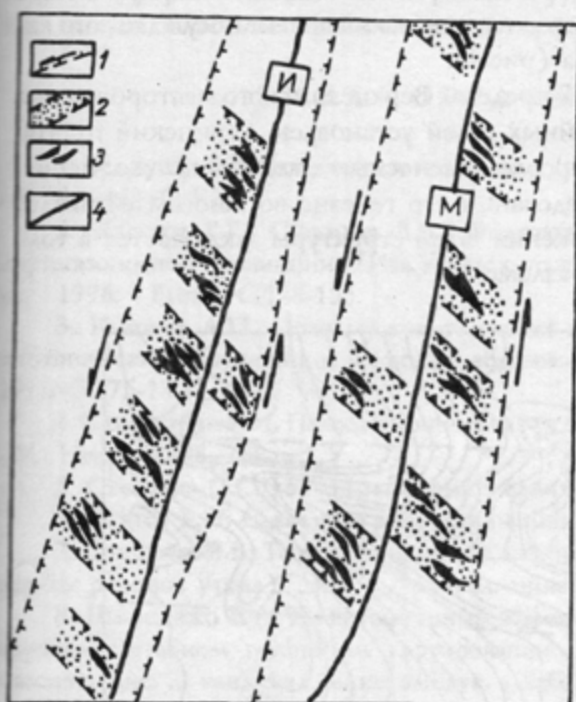


Рис.2. Геодинамический контроль оловорудных месторождений и рудопроявлений Октябрьского рудного узла [по В.П.Уткину]:

1 - граница рудоносной сдвиговой зоны; 2 - рудоконтролирующие структуры; 3 - рудные тела; 4 - главные сдвиги с установленной рудоносностью:

И - Ивановский, М - Молодежный

Структуры скола и отрыва являются аномальными по плотности слагающих их пород объектами и тогда, когда они выполнены каким-нибудь субстратом, и тогда, когда они представляют собой просто разрыхленные участки среды. Исследования показали, что в поле силы тяжести они проявляются в обоих случаях системами кулисообразных положительных и отрицательных аномалий, близких по интенсивности и размерам. Форма аномалий в плане (в зависимости от точности и детальности гравиметрической съемки) эллиптическая или S (Z)-образная. Оси аномалий параллельны и образуют острый угол с направлением сдвига. Системы таких аномалий являются устойчивым морфологическим признаком, позволяющим уверенно картировать зоны сдвига, изучать их внутреннее строение и определять знаки сдвига - левый, правый.

Проиллюстрируем все выше сказанное конкретными примерами.

На рис.2 показана геологическая схема Октябрьского оловорудного узла [6], главными структурными элементами которого являются два субмеридиональных левосторонних сдвиговых разлома, «выполняющих, как отмечает автор, роль рудоносных структур, вдоль которых размещены месторождения. Рудоносные сдвиги являются глубинными структурами, вскрывающими рудоматические очаги, и некоторые из них, скорее всего, проникают в мантию. Сдвиговая активизация этих глубинных разломов создавала исключительно благоприятные геодинамические условия для миграции рудного вещества из нижних уровней коры к верхним с последующей его концентрацией в рудолокализирующих структурах ... Рудолокализирующие структуры ... состоят из пространственно сближенных рудовмещающих структур растяжения (трещин отрыва - авт.), контролирующих ... размещение отдельных рудных тел ... Характерной морфологической чертой такого типа рудовмещающих структур является их S-образная при левом и Z-образная при

правом сдвиге форма [6, с.125-127] ... Между рудовмещающими структурами растяжения ... иногда намечается закономерный шаг ... Так, рудолокализирующие структуры (Октябрьского рудного узла - авт.) ... удалены друг от друга на равные расстояния в 2-3 км ... Равноудаленность структур растяжения ... не случайное явление» [6, с.132-133].

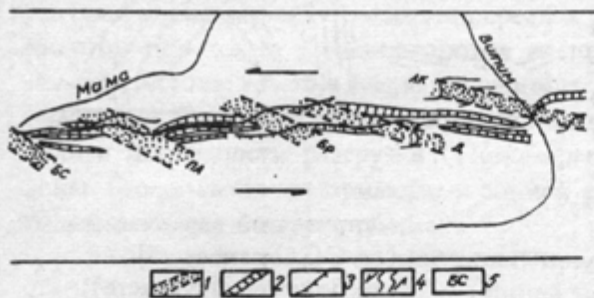


Рис.3. Схема распределения пегматитовых полей, связанных со сдвиговыми дислокациями разных типов, в надвиговой зоне Слюдянского разлома:

1 - поля, связанные с присдвиговыми V-образными складками; 2 - поля, связанные с зонами трещин оперения межпластовых сдвигов и сбросо-сдвигов; 3 - допегматитовые надвиги, выполненные метасоматическими породами; 4 - изгибы слоистости в присдвиговых складках и направления пары сил при региональном сдвиге по Слюдяному разлому; 5 - индексы пегматитовых полей

неясным [2]. Особенность пространственного положения этой структуры заключается в том, что она в плане совпадает с широтным глубинным разломом.

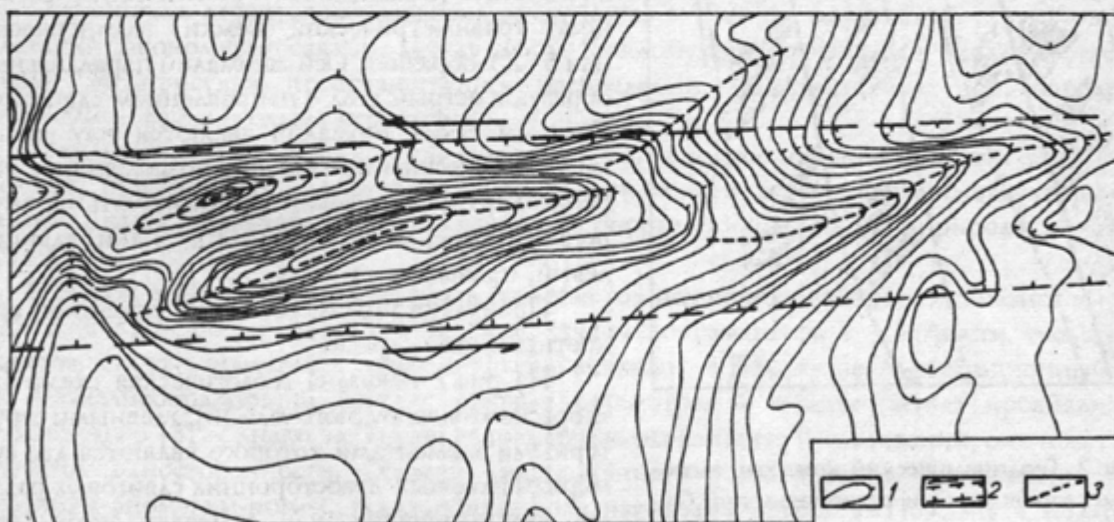


Рис.4. Гравитационные аномалии в зоне глубинного Дуринского разлома:

1 - изоаномалы силы тяжести; 2 - внешние границы зоны разлома-сдвига и направления пары сил по разлому; 3 - оси линейных магнитных аномалий положительного знака

В поле силы тяжести прогиб картируется цепочкой кулисообразных локальных положительных аномалий, имеющих в плане S-образную форму (с ними пространственно совпадает аналогичная система положительных магнитных аномалий). Результаты интерпретации и данные бурения показали, что источниками аномалий являются локальные погружения в кровле солей, заполненные более плотным, чем соль, терригенным материалом. Погружения, как и

аномалии, имеют S-образную в плане форму. Их длинные оси северо-восточной ориентировки образуют с направлением простираня прогиба и разлома углы 10-20°.

Такая система локальных погружений могла сформироваться только в результате левостороннего сдвига. Данные повторных нивелировок (Блюмин М.А., Улитин Р.В., 1983) указывают на значительные деформации сдвига, имеющие место в настоящее время на линиях пресечения Дуринским глубинным разломом, по которому и происходит сдвиговый процесс.

Сдвигообразование, как отмечалось, сопровождается интенсивным трещинообразованием. Оно происходит не только в кристаллических, но и в осадочных, в частности, в соляных породах (Дзюнс-Литовский, 1967; Бельтюков, 1970; Короткевич, 1970; Привалов, 1971).

Геологи (Валеев, 1974 и др.) объясняли образование локальных погружений в Дуринском прогибе выщелачиванием солей в основном подсолевыми водами, оставляя без ответа вопрос о пространственной выборочности этого процесса. Исходя из доказанности сдвиговой природы прогиба, можно утверждать, что выщелачивание солей наиболее интенсивно шло там, где в зоне сдвига формировалась система трещин скола и отрыва, проникавших в виде каналов на значительную глубину и открывавших доступ для движения вод из подсолевых горизонтов.

Таким образом, из анализа гравитационного поля и геолого-тектонифизических данных следует, что Дуринский прогиб и глубинный разлом образуют единую геодинамическую систему, развитие которой во времени и определяет закономерности внутреннего строения прогиба.

Тектонофизический подход к анализу аномалий поля силы тяжести, позволяя оценивать механизм формирования геологических структур, расширяет возможности гравиметрии, открывает новую область ее применения и в прикладном, и в теоретическом планах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоусов В.В. Складчатость и основные типы тектонических деформаций // Бюлл. МОИП, отд. геол. - 1969. - №4. - С.5-23.
2. Кассин Г.Г., Суворов В.В., Филатов В.В. Геофизические исследования в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Изв. Уральск. государств. горно-геолог. академии. Сер.: Геология и геофизика. - 1996. - Вып.5. - С.128-135.
3. Кочнев А.П. Поля мусковитоносных пегматитов в зонах сдвиговых дислокаций // Сдвиговые тектонические нарушения и их роль в образовании месторождений полезных ископаемых. - М.: Наука, 1991. - С.175-180.
4. Старостин В.И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных полей. - М.: Недра, 1988. - 256 с.
5. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. - М.: Недра, 1977. - 144 с.
6. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. - М.: Наука, 1989. - 166 с.
7. Филатов В.В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): Дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. - Свердловск, 1990. - 376 с.
8. Шередеко В.А. Гравитационный эффект дилатационного разуплотнения геологических тел при крупномасштабном глубинном картировании (на примере юго-западного Синегорья - Ханкайский массив): Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. - Хабаровск, 1986. - 157 с.